

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
29. September 2005 (29.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/091327 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01J 35/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/002990

(22) Internationales Anmeldedatum:  
21. März 2005 (21.03.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 013 620.3 19. März 2004 (19.03.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **YXLON INTERNATIONAL SECURITY GMBH**  
[DE/DE]; Heselstücken 3, 22453 Hamburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HARDING, Geoffrey**  
[GB/DE]; Jevenstedter Str. 170 D, 22547 Hamburg (DE).

(74) Anwalt: **DTS MÜNCHEN**; St. Anna-Strasse 15, 80538  
München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,  
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,  
PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

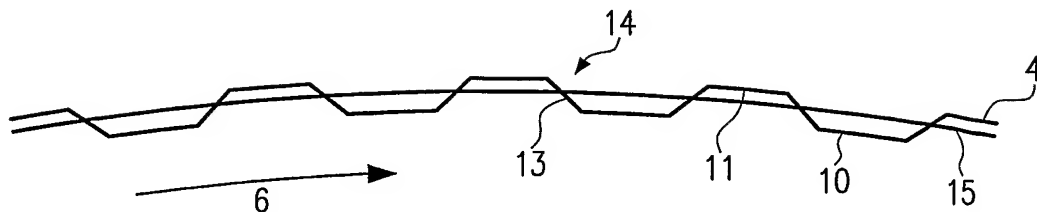
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: ELECTRON WINDOW FOR A LIQUID METAL ANODE, LIQUID METAL ANODE, X-RAY EMITTER AND  
METHOD FOR OPERATING AN X-RAY EMITTER OF THIS TYPE

(54) Bezeichnung: ELEKTRONENFENSTER FÜR EINE FLÜSSIGMETALLANODE, FLÜSSIGMETALLANODE,  
RÖNTGENSTRAHLER UND VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES SOLCHEN RÖNTGENSTRAHLERS



(57) Abstract: The invention relates to an electron window (1) for a liquid metal anode (2) in the form of a membrane (4). According to the invention, the electron window (1) has protuberances (10) and depressions (11). The invention also relates to a liquid metal anode (2), in which an electron window (1) of this type is inserted and to an X-ray emitter comprising an inventive liquid metal anode (2). The invention further relates to a method for operating a liquid metal anode (2), according to which increased turbulence (5) is generated in the flow of the liquid metal below the electron window (1) during the generation of the X-ray radiation.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung befasst sich mit einem Elektronenfenster 1 für eine Flüssigmetallanode 2 in der Form einer Membran 4. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Elektronenfenster 1 Erhebungen 10 und Vertiefungen 11 aufweist. Darüber hinaus befasst sich die Erfindung mit einer Flüssigmetallanode 2, in die ein solches erfindungsgemäßes Elektronenfenster 1 eingesetzt ist. Außerdem befasst sich die Erfindung mit einem Röntgenstrahler, der eine erfindungsgemäße Flüssigmetallanode 2 aufweist. Des weiteren befasst sich die Erfindung mit einem Verfahren zum Betrieb einer Flüssigmetallanode 2, bei dem während der Erzeugung von Röntgenstrahlung im Fluss des Flüssigmetalls unterhalb des Elektronenfensters 1 verstärkte Verwirbelungen 5 erzeugt werden.



WO 2005/091327 A2

Elektronenfenster für eine Flüssigmetallanode, Flüssigmetall-  
anode, Röntgenstrahler und Verfahren zum Betrieb eines sol-  
chen Röntgenstrahlers

5

Die Erfindung befasst sich mit einem Elektronenfenster für  
eine Flüssigmetallanode in der Form einer Membran, mit einer  
Flüssigmetallanode, die ein erfindungsgemäßes Elektronenfens-  
ter aufweist und einen Röntgenstrahler mit einer solchen  
10 Flüssigmetallanode. Darüber hinaus befasst sich die Erfindung  
mit einem Verfahren zum Betrieb eines Röntgenstrahlers mit  
einer Flüssigmetallanode.

Zur Erzeugung von Röntgenstrahlen werden seit kurzer Zeit  
15 Flüssigmetallanoden verwendet. Diese Technologie wird LIMAX  
(Liquid Metal Anode X-Ray) genannt. Bei der Erzeugung von  
Röntgenstrahlen wird die Flüssigmetallanode mit einem  
Elektronenstrahl beschossen. Dadurch erwärmt sich die Flüs-  
sigmetallanode – wie jede bekannte feste Anode – erheblich.  
20 Die entstehende Wärme muss aus dem Fokusbereich abgeführt  
werden, damit sich die Anode nicht überhitzt. Dies erfolgt in  
Flüssigmetallanoden mittels turbulenten Massentransports,  
Konvektions-, wärmeleitungs- und Elektronendiffusionsvorgän-  
gen. Im Fokusbereich, in dem die Elektronen auf die Flüssig-  
25 metallanode auftreffen, weist das Leitungssystem der Flüssig-  
metallanode ein Elektronenfenster auf. Dies besteht aus einer  
dünnen Metallfolie oder einem Diamantfilm, die so dünn ist,  
dass die Elektronen in ihr nur einen geringen Teil ihrer Be-  
wegungsenergie verlieren. Um die unterhalb des Elektronen-  
30 fensters entstehende Wärme abtransportieren zu können, wird  
das flüssige Metall in einem Kreislauf umgewälzt. Die an der  
Stelle des Fokus entstehende Wärme wird somit vom flüssigen  
Metall mitgenommen. Bei der benötigten dünnen Metallfolie be-  
steht das Problem, dass sie instabil werden kann oder sogar  
35 platzt, wenn der Flüssigkeitsdruck oder die Scherbeanspru-  
chung eine vorgegebene mechanische Grenze überschreitet.

Aufgabe der Erfindung ist es deswegen, ein Elektronenfenster zur Verfügung zu stellen, das eine höhere mechanische Stabilität aufweist und gleichzeitig dünn genug ist, um nur einen sehr geringen Teil der Elektronenenergie aufzunehmen. Darüber hinaus ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem eine Flüssigmetallanode, in die ein solches Elektronenfenster eingesetzt ist, betrieben werden kann.

Die Aufgabe wird durch ein Elektronenfenster mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Dadurch, dass die Membran Erhebungen und Vertiefungen aufweist, ist zum Einen die Stabilität gegenüber mechanischen Beanspruchungen, wie dem Flüssigkeitsdruck in der Leitung der Flüssigmetallanode und der Scherbeanspruchung, erhöht. Gleichzeitig kann die Membran über den überwiegenden Teil der Fläche weiterhin so dünn ausgeführt sein, dass nur ein geringer Energieverlust der hindurchtretenden Elektronen auftritt. Zum Anderen werden durch die Erhebungen und Vertiefungen im Fluss des Flüssigmetalls unterhalb des Elektronenfensters verstärkt Verwirbelungen erzeugt. Dadurch wird eine bessere Abfuhr der in der Flüssigmetallanode bei einem Beschuss mit Elektronen entstehenden Wärme erreicht. Als Membran kommen alle dünnen Gegenstände in Betracht, die auf der einen Seite stabil sind und auf der anderen Seite die sie durchdringenden Elektronen möglichst wenig in ihrer Energie schwächen. Bevorzugt werden eine Metallfolie, ein Diamantfilm, ein keramischer Werkstoff oder ein Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid, als Membran verwendet. Erfindungsgemäß ist auch vorgesehen, dass das Elektronenfenster eine Prägestruktur aufweist und sowohl die Erhebungen als auch die Vertiefungen Teilflächen sind, die über Verbindungsflanken miteinander verbunden sind. Eine so ausgebildete dünne Metallfolie kann sehr einfach hergestellt werden, da sie aus einem einzigen Teil geformt werden kann. Die Verwirbelung des Flüssigkeitsstroms der Flüssigmetallanode wird hier durch die Erhebungen und Vertiefungen erreicht.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Vertiefungen und/oder die Erhebungen in einer virtuellen regelmäßigen Gitterstruktur angeordnet sind. Dabei ist besonders bevorzugt, dass die Vertiefungen und/oder die Erhebungen als polygonale Einheiten, insbesondere quadratische oder hexagonale Einheiten, ausgebildet sind. Solche geometrischen und symmetrischen Ausgestaltungen sind sehr einfach herzustellen und geben der Membran eine besonders hohe mechanische Stabilität.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Elektronenfenster gebogen ausgebildet ist, insbesondere wie ein Ausschnitt eines Zylindermantels. Eine solche Ausgestaltung ist zum Einen sehr einfach herzustellen und zum Anderen auch mechanisch sehr stabil.

Eine weiter vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Vertiefungen und/oder die Erhebungen eine Höhe im Bereich von 10 bis 250  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 50  $\mu\text{m}$ , haben und die Membran eine Dicke von 5 bis 50  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 20  $\mu\text{m}$ , aufweist. Durch die angegebenen Höhe der Vertiefungen und/oder Erhebungen werden Wirbel erzeugt, die im selben Größenbereich liegen. Dieser Bereich entspricht im Wesentlichen der Reichweite der Elektronen im Flüssigmetall, wenn man von stark relativistischen Elektronen ausgeht. Wirbel von größerem Ausmaß sind nicht nötig, da die im Flüssigmetall erzeugte Wärme nur in dem Bereich entsteht, in den auch die Elektronen vordringen.

30

Die Aufgabe wird auch durch eine Flüssigmetallanode mit den Merkmalen des Patentanspruchs 7 gelöst. Erfindungsgemäß ist das Elektronenfenster so in die Leitung eingesetzt, dass die Erhebungen zum Inneren der Leitung weisen und mit dem Flüssigmetall in Kontakt sind. Durch das Einsetzen des Elektronenfensters mit den Erhebungen zum Inneren der Leitung wird neben der Steigerung der mechanischen Stabilität der Membran

auch gleichzeitig eine erhöhte Verwirbelung des Flüssigmetallstroms in der Flüssigmetallanode erreicht, was zu einem besseren Abtransport des unterhalb des Elektronenfensters im Fokusbereich entstandenen Wärme führt.

5

Die weitere Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 9 gelöst. Erfindungsgemäß werden dabei die Verwirbelungen an den Erhebungen des Elektronenfensters erzeugt. Durch die Verwirbelung des Flüssigmetallstroms wird – wie oben schon ausgeführt – der Abtransport der entstehenden Wärme in der Flüssigmetallanode unterstützt.

10

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden anhand der in den Figuren dargestellten und nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele erläutert. Dabei zeigen:

15

Fig. 1 einen schematischen Schnitt durch eine Flüssigmetallanode im Fokusbereich,

20

Fig. 2 eine Draufsicht auf ein erstes erfindungsgemäßes Elektronenfenster,

Fig. 3 eine Ansicht eines zweiten erfindungsgemäßen Elektronenfensters und

25

Fig. 4 einen Längsschnitt durch ein drittes erfindungsgemäßes Elektronenfenster mit gleich großen Erhebungen und Vertiefungen.

30

In Fig. 1 wird ein schematischer Schnitt durch eine Flüssigmetallanode 2 dargestellt. In einer Leitung 9 wird entlang einer Flussrichtung 6 Flüssigmetall gepumpt. Als Flüssigmetall kommt beispielsweise BiPbInSn in Betracht. Im Bereich des Fokus der Flüssigmetallanode 2 trifft ein Elektronenstrahl 3 im Wesentlichen senkrecht auf ein Elektronenfenster 1. Dieses Elektronenfenster 1 ist als eine dünne Membran 4 ausgebildet, die die Energie der Elektronen nur gering

35

schwächt. Die Membran ist im dargestellten Ausführungsbeispiel als eine dünne Metallfolie 4 ausgebildet. Genauso gut ist es möglich, einen Diamantfilm, einen keramischen Werkstoff oder einen Einkristall, insbesondere aus kubischem Bor-  
5 nitrid, zu verwenden. Die Metallfolie 4 ist so dünn, dass sie den Elektronenstrahl 3 in seiner Energie nur geringfügig abbremsst. Sie ist aus einer Wolframlegierung, beispielsweise aus W/Re, gefertigt und weist eine Dicke von 10  $\mu\text{m}$  auf. Die optimale Dicke ist allerdings stark von der Elektronenenergie  
10 abhängig. Die Elektronenenergie wird durch das Flüssigmetall aufgenommen und es entsteht Röntgenstrahlung (nicht gezeigt).

Gleichzeitig entsteht in dem Gebiet, in dem der Elektronenstrahl 3 seine Energie an das Flüssigmetall abgibt, ein erwärmter Bereich 8. Die Wärme des erwärmten Bereichs muss abgeführt werden, um eine Überhitzung der Flüssigmetallanode 2 zu vermeiden. Die Kühlung erfolgt dadurch, dass das Flüssigmetall über eine Pumpe (nicht gezeigt) durch die Leitung 9 entlang der Flussrichtung 6 umgewälzt wird. Der Abtransport  
15 der entstandenen Wärme erfolgt durch Konvektion, thermische Leitung im Flüssigmetall und Elektronendiffusion.

Mittels eines erfindungsgemäßen Elektronenfensters 1 (nähere Einzelheiten s. Fig. 2 bis 4) werden aufgrund der Erhebungen  
25 10 und der Vertiefungen 11 in der laminaren Strömung des Flüssigmetalls entlang der Flussrichtung 6 verstärkt Verwirbelungen 5 erzeugt. Dies wird anhand des Flussgeschwindigkeitsvektors 7 verdeutlicht. Man erhält dadurch eine gute Abführung der unterhalb der Metallfolie 4 des Elektronenfensters 1 entstandenen Wärme in Richtung der Flussrichtung 6. Um  
30 eine solche Durchmischung von kaltem und heißem Flüssigmetall zu erreichen, und gleichzeitig einen guten Abtransport aufgrund der Pumpleistung zu erhalten, reichen Flussgeschwindigkeiten des Flüssigmetalls im Bereich von einigen 10  $\text{m s}^{-1}$   
35 aus.

In den Figuren 2 bis 4 sind drei unterschiedliche Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Metallfolie 4 dargestellt, die auf der einen Seite zu der oben beschriebenen Wirbelbildung führt und somit zu einer Verbesserung des Ab-  
5 transports der entstehenden Wärme aus dem erwärmten Bereich 8 beiträgt, aber gleichzeitig auch zu einer erheblichen Erhöhung der mechanischen Steifheit der Metallfolie 4 beiträgt. Diese mechanische Steifheit ist besonders wichtig, da sie den begrenzenden Faktor für die maximale Leistungsstärke bildet,  
10 mit der die Röntgenquelle betrieben werden kann. Wird die mechanische Stabilität der Metallfolie 4 erreicht oder überschritten, wird diese aufgrund des Flüssigkeitsdrucks oder der Scherbeanspruchung instabil oder zerbricht sogar. Es gibt allerdings oberhalb des elastischen Verformungsbereichs bei  
15 Metallfolien noch einen plastischen Verformungsbereich, so dass eine gewisse Sicherheitszone gegeben ist. Dies ist bei einer Membran aus Keramik nicht der Fall, da diese beim Überschreiten des elastischen Verformungsbereichs zerspringt.

20 In Fig. 2 ist eine erste erfindungsgemäße Möglichkeit dargestellt, wie die mechanische Stabilität der Metallfolie 4 erhöht werden kann. Die Metallfolie 4 ist hierbei in einer Draufsicht gezeigt, die in Fig. 1 der Richtung von unten entspricht. Somit ist die dargestellte Fläche dem Flüssigmetall  
25 der Flüssigmetallanode 2 zugewandt und mit diesem in Kontakt. Auf der ebenen Metallfolie 4 sind hexagonale Rippen 12 als eine Art von Stegen ausgebildet. Diese haben eine Höhe von ca. 20 µm. Die Rippen 12 entsprechen damit Erhebungen 10, die über die Vertiefungen 11 herausstehen, welche durch die ebene  
30 Metallfolie 4 definiert sind. Durch diese Rippen 12 wird das Flüssigmetall, das entlang der Flussrichtung 6 an der Metallfolie 4 entlang fließt verstärkt verwirbelt, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Aufgrund der Verwirbelung 5 wird eine gute Vermischung von heißem und kaltem Flüssigmetall erreicht. Die  
35 Größe der Verwirbelungen 5 liegt dabei ungefähr bei der Höhe der Rippen 12. Die hexagonalen Rippen 12 sind auf einer virtuellen regelmäßigen Gitterstruktur angeordnet.

Durch diese zweidimensionale gerippte Struktur wird die Formstabilität im Vergleich zu einer unstrukturierten, planen Metallfolie 15 (s. Fig. 4) erheblich erhöht. Neben der hexagonalen Struktur der Rippen 12 sind ebenso andere polygonale Einheiten möglich, beispielsweise quadratische. Diese sind dann auch bevorzugt auf einer regelmäßigen Gitterstruktur angeordnet.

In Fig. 3 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Metallfolie 4 dargestellt. Diese ist jedoch nicht auf einer ebenen, sondern auf einer gebogenen Oberfläche ausgebildet. Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 handelt es sich hierbei um ein quadratisches Muster von Erhebungen 10 und Vertiefungen 11. Man erhält dadurch ein verzerrtes hexagonales Muster (im Unterschied zur Fig. 2). Dies entspricht dem bekannten Fingerhut, den man beispielsweise zum Nähen auf einen Finger aufsetzt.

Das in Fig. 4 dargestellte dritte Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Metallfolie 4 weist ebenfalls eine gebogene Oberfläche auf. Anders als eine plane Metallfolie 15 (die als Referenz dargestellt ist) mit – wie in den beiden Ausführungsbeispielen der Fig. 2 und 3 dargestellt – aufgesetzten Rippen 12 ist diese Metallfolie 4 nach einem anderen Prinzip geformt. Die dargestellte Struktur wird beispielsweise durch einen Prägevorgang erreicht. Im Längsschnitt ist gut zu erkennen, dass die Vertiefungen 11 alle auf einer gemeinsamen Oberfläche, die im Wesentlichen auf einem Zylindermantel liegen angeordnet sind. Auch die Erhebungen 10 liegen alle auf einem Zylindermantel jedoch beabstandet zu den Vertiefungen 11. Jeweils nebeneinander liegende Erhebungen 10 und Vertiefungen 11 sind über jeweils eine Verbindungsflanke 13 miteinander verbunden. Eine solche Struktur wirkt selbststabilisierend, so dass sie eine bedeutend höhere mechanische Stabilität aufweist als die als Referenz angegebene plane Metallfolie 15. Das Flüssigmetall, das entlang der Flussrichtung 6



auf die Erhebungen 10 trifft, wird – genauso wie oben beschrieben – verwirbelt. Dadurch ergeben sich die oben genannten Vorteile für die Abführung der unterhalb des Elektronenfensters 1 entstandenen Wärme.

5

Im Allgemeinen gilt, dass Verwirbelungen 5 immer mit einem Massentransport einhergehen und somit die turbulente Leitfähigkeit relativ zur thermischen Leitfähigkeit erhöhen, die unter laminaren Flussbedingungen gemessen werden. Dadurch ermöglicht eine Flüssigmetallanode 2 mit einem erfindungsgemä-  
10 ßen Elektronenfenster 1 höhere Elektronenstromleistungen. Diese Eigenschaft ist insbesondere bei der industriellen zerstörungsfreien Analyse wichtig, um die Messzeit für die Untersuchung einer Reihe von Objekten zu reduzieren.

## Bezugszeichenliste

1	Elektronenfenster
2	Flüssigmetallanode
3	Elektronenstrahl
4	Membran, insbesondere Metallfolie
5	Verwirbelung
6	Flussrichtung
7	Flussgeschwindigkeitsvektor
8	Erwärmter Bereich
9	Leitung
10	Erhebung
11	Vertiefung
12	Rippe
13	Verbindungsflanke
14	Virtuelle Gitterstruktur
15	Plane Metallfolie

## Patentansprüche

1. Elektronenfenster (1) für eine Flüssigmetallanode (2) in  
5 der Form einer Membran (4), die Erhebungen (10) und Vertiefungen (11) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass es eine Prägestruktur aufweist und sowohl die Erhebungen (10) als auch die Vertiefungen (11) Teilflächen sind, die über Verbindungsflanken (13) miteinander verbunden  
10 sind.
2. Elektronenfenster (1) nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (4) aus einer Metallfolie, einem Diamantfilm, einem keramischen Werkstoff oder  
15 einem Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid, besteht.
3. Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen (11) und/oder die Erhebungen (10) in einer virtuellen regelmäßigen Gitterstruktur (14) angeordnet sind.  
20
4. Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen (11) und/oder die Erhebungen (10) als polygonale Einheiten, insbesondere quadratische oder hexagonale Einheiten, ausgebildet sind.  
25
5. Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es gebogen ausgebildet ist, insbesondere wie ein Ausschnitt eines Zylindermantels.  
30
6. Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen (11) und/oder die Erhebungen (10) eine Höhe im Bereich von 10 bis 250 µm, bevorzugt 50µm, haben und die  
35

Membrane (4) eine Dicke von 5 bis 50  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 20  $\mu\text{m}$ , aufweist.

- 5 7. Flüssigmetallanode (2) mit einer Pumpe, einer Kühlung, einer Leitung (9) und einem Flüssigmetall, das mittels der Pumpe durch die Leitung (9) pumpbar ist, wobei in der Leitung (9) einen Anodenmodul angeordnet ist, in welches ein Elektronenfenster (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche eingesetzt ist, wobei das Elektronenfenster (1) so in die Leitung (9) eingesetzt ist, dass  
10 die Erhebungen (10) zum Inneren der Leitung (9) weisen und mit dem Flüssigmetall in Kontakt sind.
- 15 8. Röntgenstrahler mit einer Elektronenquelle zur Emission von Elektronen und einem beim Auftreffen der Elektronen Röntgenstrahlen emittierenden Flüssigmetallanode (2) nach Patentanspruch 7.
- 20 9. Verfahren zum Betrieb eines Röntgenstrahlers mit einer Flüssigmetallanode (2) bei dem während der Erzeugung von Röntgenstrahlung im Fluss des Flüssigmetalls unterhalb des Elektronenfensters (1) verstärkte Verwirbelungen (5) an den Erhebungen (10) des Elektronenfensters (1) erzeugt werden.



2/2

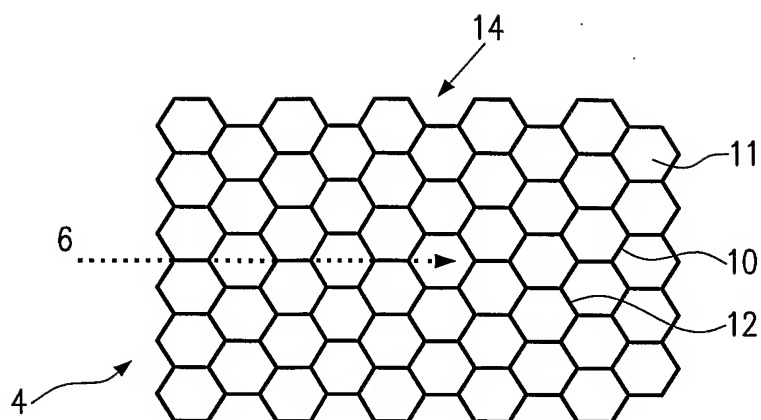


Fig.2

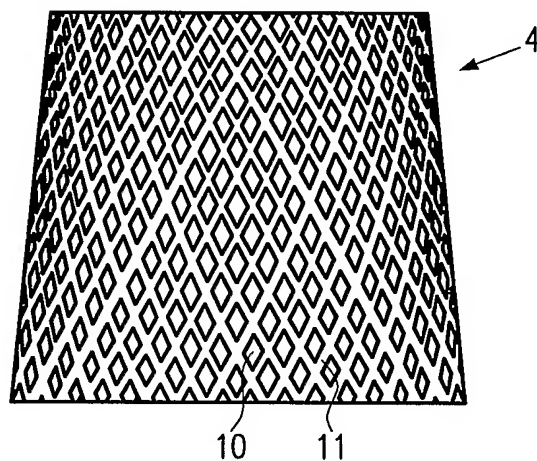


Fig.3

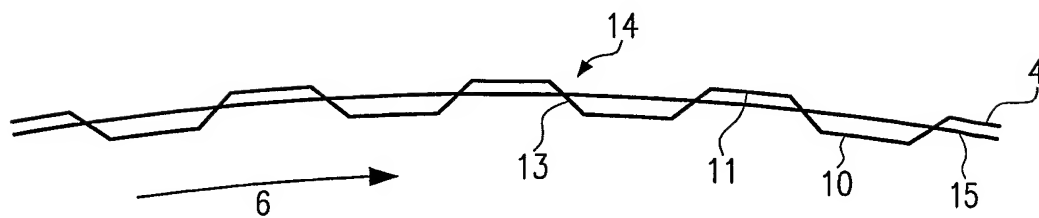


Fig.4